



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer:

0 398 319  
A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 90109295.7

(51) Int. Cl. 5: G01B 11/24

(22) Anmeldetag: 17.05.90

(30) Priorität: 19.05.89 DE 3916276

(71) Anmelder: Betriebsforschungsinstitut VDEh  
Institut für angewandte Forschung GmbH  
Sohnstrasse 65  
D-4000 Düsseldorf(DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
22.11.90 Patentblatt 90/47

(72) Erfinder: Keck, Roland, Dr. Ing.  
Brend'amourstrasse 78  
D-4000 Düsseldorf(DE)  
Erfinder: Krüger, Bertold, Dipl.-Ing.  
Grevenbroicher Strasse 97  
D-4150 Krefeld-Fischeln(DE)

(64) Benannte Vertragsstaaten:  
BE CH DE FR GB IT LI LU NL

(74) Vertreter: Plöger, Ulrich, Dipl.-Ing.  
Benrather Schlossallee 89  
D-4000 Düsseldorf 13(DE)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur interferometrischen Detektion von Oberflächenverschiebungen bei Festkörpern.

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie auf eine Vorrichtung zur interferometrischen Detektion von Oberflächenverschiebungen von Festkörpern, insbesondere bei zu Ultraschall-Schwingungen angeregtem Prüfgut, wobei ein Beleuchtungslaser 10 auf die Prüfgutoberfläche 2 einstrahlt und ein Teil der Rückstrahlung nach Durchlauf einer dem gegenüber unterschiedlichen Weglänge zur Interferenz gebracht wird, auf deren Feststellung ein Detektor 9 eingerichtet ist. Bei bekannten Ausführungen dieser Art ist eine sehr aufwendige Einrichtung und Regelung erforderlich, um sicherzustellen, daß die Demodulation des rückgestrahlten Laserlichtes mit höchst-

möglicher Empfindlichkeit vorgenommen werden kann. Dies wird erfindungsgemäß dadurch verbessert, daß ein gemeinschaftlicher Beleuchtungslaser 10 für den Betrieb mehrerer mit Lichtleitern 5, 7 ausgeführter Interferometer verwendet wird, die gebündelt in einer gemeinschaftlichen, vom Prüfgut beabstandeten Sende- und Empfangsoptik 4 endigen, von der gleichfalls Detektorlichtleiter ausgehen, wobei von der Phasenlage abhängige Zuordnungen zustande kommen, deren Signale zumindest betragsmäßig addiert und zur Erkennung der Ultraschall-Ereignisse verwendet werden.

A2

EP 0 398 319

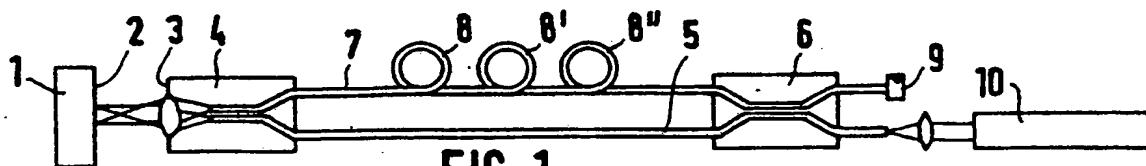


FIG. 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur interferometrischen Detektion von Oberflächenverschiebungen bei Festkörpern, insbesondere von Ultraschall-Ereignissen auf Oberflächen von zu Ultraschall-Schwingungen angeregtem Prüfgut, wobei ein Beleuchtungslaser auf die Prüfgutoberfläche einstrahlt und ein Teil der Rückstrahlung nach Durchlauf von zwei unterschiedlichen Weglängen zur Interferenz gebracht wird, auf deren Feststellung ein Detektor eingestellt ist.

Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens, wobei ein Arm eines Interferometers vom Beleuchtungslaser zu einer Sende- und Empfangsoptik führt, die mit Abstand von der Prüfgutoberfläche angeordnet ist, und ein zurückführender Arm zu einem Detektor führt, und wobei für einen Arm eine veränderbare Weglänge besteht, nach welcher die Arme optisch gekoppelt sind.

Laser-Ultraschall-Systeme sind schon erfolgreich zur Wanddickenmessung während des Warmwalzens verwendet worden. Dies ergibt sich z.B. aus der Veröffentlichung von R.Keck, B.Krüger, G.Coen und W.Häsing "Wanddickenmessung an 1230 °C heißen Rohrluppen mit einem neuartigen Laser-Ultraschallsystem", Stahl und Eisen, 1987, S.1057 bis 1060. Dieses System sieht die Verwendung eines Laser-Interferometers vor, wobei die Oberflächenbewegung des Prüfgutes eine Frequenzmodulation der Strahlung des Beleuchtungslasers hervorrufen, in welcher Frequenz und Amplitude der Ultraschallwelle enthalten sind. Zur Demodulation wird über eine Sammellinse ein Teil des zurückgestreuten Lichtes einem Laufzeit-Interferometer zugeführt, in dem das empfangene Licht einem Strahleiter aufgespalten und nach Durchlauf unterschiedlich langer Wege zur Interferenz gebracht wird. Dabei interferieren Teile von Wellenzügen miteinander, die zu unterschiedlichen Zeiten den Laser verlassen haben. Bei konstanter Frequenz des empfangenen Laserlichts liegt eine gleichbleibende Phasenzuordnung im Interferometer vor, so daß sich am Detektor eine konstante Helligkeit ergibt. Das Laserlicht erfährt eine sehr geringe Frequenzänderung durch Ultraschall wegen des Doppelreflektors, die sich mit einem zeitlichen Versatz am Ort der Interferenz auswirkt. Sofern die Phasen einander mit in ursprünglicher Zuordnung überlagern, führen die geänderten Phasenzuordnungen zu unterschiedlichen Helligkeitswerten am Detektor. Die durch Ultraschall bewirkte Frequenzdifferenz der interferierenden Wellen ist ein Maß für die Verstimmung.

Die Verstimmung ist bei Interferenz derjenigen Wellen maximal, die durch maximale Oberflächen geschwindigkeiten in entgegengesetzter Richtung moduliert werden. Maximale Geschwindigkeit herrscht bei den Nulldurchgängen der Ultraschall-

welle. Ultraschallwellen, bei denen der zeitliche Abstand der Nulldurchgänge der Laufzeitdifferenz in den Interferometerarmen entspricht, werden am empfindlichsten wahrgenommen. Um das höchste Maß an Empfindlichkeit sicherzustellen, bedarf die Anlage einer sehr aufwendigen Einrichtung zur Nachregulierung, um die entstehenden Signale in befriedigender Weise auswerten zu können. Intensitätsschwankungen durch rauhe Oberflächen des Prüfgutes oder schrägen Einfall des Laserlichtes, wie sie gerade unter betrieblichen Bedingungen auftreten, müssen ausgeregelt werden.

Hierauf basierend liegt der Erfindung die Aufgabenstellung zugrunde, für die Demodulation des zurückgestrahlten Laserlichtes mit weniger Aufwand zu einer Auswertung der Phasenzuordnung zu kommen. Von dem durch die Differenz zweier Wellenzüge bei Phasenverschiebung bestehenden Helligkeitsverlauf, der die sinusförmige Demodulationskennlinie bildet, soll jeder beliebige Teil genutzt werden können, so daß die Begrenzung auf lediglich den steilsten Teil eines Armes der Sinuskurve bei 90° bzw. 270° Phasenverschiebung entfallen kann.

Die Erfindung löst diese Aufgabenstellung durch die in den Patentansprüchen gemachten Vorschläge.

Somit führt die Erfindung zu einer Bündelung einer Vielzahl von Interferometern (Typ Michelson oder Mach-Zehnder), die alle in der Bildebene der Sende- und Empfangsoptik enden. Im Anschluß hieran wird das von den Lichtleitern geführte Licht der Teilstrahlen des Beleuchtungslasers, also des Beleuchtungslichts, entsprechend den optischen Abbildungsgesetzen auf die Prüfgutoberfläche projiziert. Die Rückstrahlung des Streulichtes geht zu einem ausreichenden Teil wiederum in die Bildebene der Sende- und Empfangsoptik und wird in die Lichtleiter eingekoppelt, aus denen es ausgetreten ist.

Die bei Interferenz zweier Wellenzüge durch den Helligkeitsverlauf bei Phasenverschiebung gekennzeichnete Demodulationskennlinie ist sinusförmig. Da das erfindungsgemäß System keine Regelung erforderlich macht, sind sämtliche Phasenzuordnungen bei der genannten Demodulationskennlinie möglich.

Die erfindungsgemäß wenigstens betragsmäßig oder nur im Umfang ihrer positiven Beträge zu berücksichtigenden Signale führen dazu, daß im Wege der Vorverarbeitung der letzteren keine Ausschüttungen durch negative Werte am fallenden Sinusarm eintreten können. Daneben ist insbesondere eine Quadrierung der Einzelsignale sinnvoll, weil für diesen Fall sämtliche Signalanteile als positive Werte zur Verfügung gestellt werden können.

Zur Veranschaulichung der Erfindung wird auf die Zeichnungen Bezug genommen. Darin zeigen,

jeweils in schematischer Darstellung:

Figur 1 ein einzelnes Interferometer der erfundungsgemäß zur Anwendung gelangenden Art, während

Figur 2 eine gesamte Meßanordnung in schematischer Darstellung wiedergibt.

Figur 1 zeigt das Prüfgut 1, an dessen Oberfläche 2 die genannten Ultraschall-Ereignisse bestehen. Zu diesem Zweck unterliegt das Prüfgut 1 der Anregung der Ultraschall-Schwingungen, für welchen Zweck beispielsweise ein Schwingquarz angekoppelt sein kann. Indes können Schwingungen auch mittels eines gepulsten, energiereichen Lasers erzeugt werden.

Im räumlichen Abstand vom Prüfgut 1 und dessen Oberfläche 2 erkennt man die oberflächige Stirnseite 3 der Sende- und Empfangsoptik 4, die für sämtliche Interferometer gemeinschaftlich vorgesehen ist.

Ein Arm des Interferometers führt von der Sende- und Empfangsoptik 4 unmittelbar zum Koppler 6, während der andere Arm 7 wahlweise in einer oder mehreren der Stufen 8, 8' und 8'' eine Wegverlängerung erfährt, bevor er in den Koppler 6 eintritt. Am Austritt aus letzterem mündet der Lichtleiter in den Detektor 9. Somit bestehen für den zurückführenden Lichtweg zwei unterschiedliche Wege vor der Interferenzbildung.

Die Gesamtanordnung gemäß Figur 2 sieht einen Laser 11 zur Anregung, der durch gepulsten Betrieb das Prüfgut 1 zu Ultraschallschwingungen anregt. Zu diesem Zweck führt der Lichtstrahl des Lasers 11 über den Lichtleiter 12 zur gemeinsamen Sende- und Empfangsoptik 4, aus deren Stirnseite 3 die Lichtimpulse austreten. Die sich auf der Oberfläche des Prüfgutes 1 ergebenden Ultraschall-Ereignisse werden durch Rückstrahlung der vom Beleuchtungslaser 10 ausgehenden Teilstrahlen aufgenommen, indem jedem Teilstrahl eine eigenes Interferometer zugeordnet ist. Die Anordnung kann, wie im vergrößerten Ausschnitt 13 veranschaulicht ist, geometrisch regelmäßig sein, jedoch kann sie auch irregulär vorliegen. Die Lichtleiter 5 und 7 sind, wie bereits in Bezug auf Figur 1 dargestellt wurde, mehrfach vorhanden, und zwar in jeweils paariger Zuordnung. Der vom Lichtleiter 7 gebildete Arm erfährt eine optische Verzögerung 18, bevor er in den Koppler 16 eintritt.

Vom Beleuchtungslaser 10 ausgehend sind Umlenkkristalle 14 und Umlenkspiegel 15 zur Bildung von im dargestellten Beispielsfall 8 Teilstrahlen vorgesehen, deren jeder eine abweichende optische Weglänge aufweist. Diese Teilstrahlen erfahren im Koppler 6 eine Einkopplung in den Lichtleiter 7. Mit letzterem koppeln die vom zurückgestrahlten Laserlicht beaufschlagten Lichtleiter 5, bevor sie in den Detektoren 9, 9' ... endigen. Letztere können noch mit Quadrierern 16', 16'' ... versehen

sein, so daß nicht absolute Beträge gebildet werden müssen, sondern quadrierte Beträge vorliegen. In beiden Fällen sind negative und somit auch sich aufhebende Werte ausgeschlossen. Die Quadrierer 16', 16'' ... sind auf einen Summierer 17 geschaltet, dessen Ausgang die weitere Signalverarbeitung in bekannter Weise mittels Monitor bzw. Datenverarbeitung gestattet.

Die erfundungsgemäße Vorrichtung ist weitgehend innerhalb eines Schutzgehäuses 19 angeordnet, das mit Eingängen für den Beleuchtungslaser 10 und für den Anregung dienenden Laser 11 versehen ist, wohingegen die verschiedenen Lichtleiter aus dem Gehäuse austreten und mit einem Schutzschlauch 20 umhüllt sind. Die Signalausgänge 21 und 22 dienen der vorgesehenen Datenverarbeitung, wohingegen eine unmittelbare Signaldarstellung mittels des Monitors 23 erfolgt.

## 20 Ansprüche

1. Verfahren zur interferometrischen Detektion von Oberflächenverschiebungen bei Festkörpern, insbesondere von Ultraschall-Ereignissen auf Oberflächen (2) von zu Ultraschall-Schwingungen angeregtem Prüfgut (1), wobei ein Beleuchtungslaser (10) auf die Prüfgutoberfläche einstrahlt und ein Teil der Rückstrahlung nach Durchlauf von zwei unterschiedlichen Weglängen zur Interferenz gebracht wird, auf deren Feststellung ein Detektor (9) eingestellt ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
 daß der Austrittsstrahl des Beleuchtungslasers (10) in mehrere Einzelstrahlen aufgeteilt wird, von denen jeder mittels Lichtleiter die Prüfgutoberfläche (2) an einer gemeinsamen Meßstelle beaufschlägt, deren Rückstrahlung auf mehrere, örtlich differenziert angeordnete Rezeptoren von Detektorlichtleitern auftritt, für die zur Erzeugung einer Laserzeitdifferenz unterschiedliche Lichtweglängen bestehen,  
 und daß die Lichtwellen jeweils eines Lichtleitpaares (5, 7) einer von der Phasenlage unabhängigen Zuordnung durch Zusammenführung unterzogen werden,  
 und daß deren detektierte Signale mit den übrigen, in gleicher Weise detektierten Signalen unter Ausschluß von Aufhebungen derselben addiert und zur Erkennung des Ereignisses verwendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
 daß die Signale vor ihrer Addierung einer Quadrierung unterworfen werden.

3. V-Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
 daß die Signalsumme gebildet und für die Erkennung des Ereignisses verwendet wird.

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, wobei ein Arm eines Interferometers vom Beleuchtungslaser zu einer Send- und Empfangsoptik führt, die mit Abstand von der Prüfgutoberfläche angeordnet ist, und ein zurückführender Arm zu einem Detektor führt, und wobei für einen Arm eine veränderbare Weglänge besteht, nach welcher die Arme optisch gekoppelt sind,

5

dadurch gekennzeichnet,  
daß die Arme als Lichtleiter (5), (7) mit einem gemeinsamen Sende- und Empfangskopf (4) ausgeführt und zu einem Bündel zusammengesetzt sind, das in der Sende- und Empfangsoptik endigt.

10

5. Vorrichtung nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß für den Beleuchtungslaser (10) ein mit Unlenkprismen (14) und Umlenkspiegeln (15) ausgeführter Mehrfachstrahlteiler für den optischen Anschluß der unterschiedlich langen Teilstrahlen an Lichtleiter (5), (7) der einzelnen Paare besteht, deren jeweils andere Lichtleiter (5), (7) auf in gleicher Zahl vorhandenen Detektoren (9) gerichtet sind.

15

6. Vorrichtung nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß den Detektoren (9, 9") Quadrierer (16', 16") und/oder Betragsbildner nachgeschaltet sind, an die sich ein gemeinsamer Summieren (17) anschließt, dessen Ausgang für eine Datenverarbeitung geschaltet ist.

20

25

30

35

40

45

50

55

Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

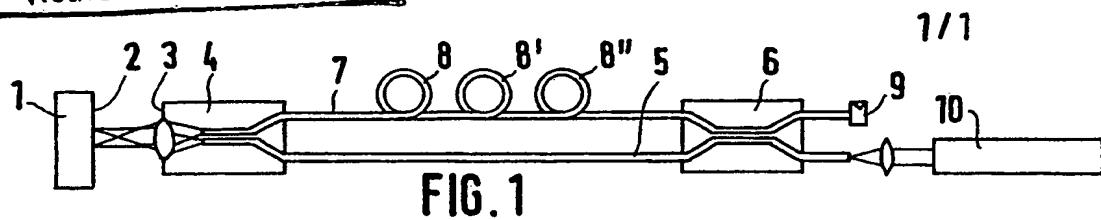


FIG. 1

